

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DÉBORA DE OLIVEIRA NASCIMENTO

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NO
SEMIÁRIDO DO BRASIL**

CURITIBA

2018

DÉBORA DE OLIVEIRA NASCIMENTO

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NO
SEMIÁRIDO DO BRASIL**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel em Ciências
Econômicas, Setor de Ciências Sociais
Aplicadas, Universidade Federal do Paraná.

Prof. Terciane Sabadini Carvalho

CURITIBA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

DÉBORA DE OLIVEIRA NASCIMENTO

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NO SEMIÁRIDO DO BRASIL

Monografia aprovada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Terciane Sabadini Carvalho
Orientador – Departamento de Economia - UFPR

Prof. Kênia Barreiro de Souza
Departamento de Economia - UFPR

Prof. Vinicius de Almeida Vale
Departamento de Economia – UFPR

Curitiba, 6 de dezembro de 2018.

*Aos meus pais e amigos que me apoiaram
ao longo da minha formação.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela oportunidade de ter estudado nessa Universidade e de desenvolver esse trabalho.

À professora Terciane Sabadini Carvalho, cuja orientação foi excepcional e me permitiu aprender um pouco mais sobre a Economia do Meio Ambiente.

Ao meu namorado, Murilo Botelho, que me apoiou, ajudou e foi meu alicerce nos momentos em que eu mais precisava.

Aos meus pais, que me proporcionaram o sustento devido para estudar em outra cidade e construir a minha carreira.

Aos meus amigos, pelas palavras de apoio ao longo da realização deste estudo.

Agradeço também à professora Kênia Barreiro, que me emprestou a bibliografia essencial para o entendimento do procedimento metodológico desenvolvido.

RESUMO

O presente estudo refere-se à construção de um Indicador de Vulnerabilidade Socioambiental (IVS) para os municípios do Semiárido do Nordeste brasileiro. O estudo também visa explicar os atuais efeitos das mudanças climáticas dentro do contexto do Semiárido e como algumas variáveis específicas podem ser diretamente afetadas por esse fenômeno. Utilizando a abordagem da análise fatorial, foram identificados os municípios que possuem o maior e o menor grau de vulnerabilidade socioambiental categorizando-os em classes que variam desde muitíssimo alto até muitíssimo baixo de vulnerabilidade socioambiental, em função de oito variáveis de caráter social, populacional, econômico e ambiental. As preocupações com os problemas socioeconômicos dessa região, relacionadas à falta de água, elevados níveis de temperatura e dependência econômica da agropecuária, remontam as principais características do Semiárido. O IVS construído permitiu apontar onde está localizada a população mais vulnerável às mudanças do clima.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, vulnerabilidade, Semiárido, análise fatorial.

ABSTRACT

The present study refers to the construction of a Socio-Environmental Vulnerability Indicator (IVS) for the semi-arid municipalities of the Brazilian Northeast. The study also aims to explain the current effects of climate change within the context of the Semi-arid and how some specific variables can be directly affected by this phenomenon. Using the factor analysis approach, municipalities with the highest and lowest degree of socio-environmental vulnerability were identified, categorizing them in classes ranging from very high to very low socio-environmental vulnerability, as a function of eight social, population, economic and environmental. Concerns about the socioeconomic problems of this region, related to lack of water, high temperature levels and economic dependence of agriculture, trace the main characteristics of the semi-arid region. The built IVS allowed to indicate where is located the population most vulnerable to the changes of the climate.

Key-words: Climate changes, vulnerability, Semiarid, factorial analysis.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DEMARCAÇÃO DA REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL	12
FIGURA 2 - VARIÁVEIS ORIGINAIS E A TRANSFORMAÇÃO EM FATORES	29
FIGURA 3 - EXEMPLO DE ROTAÇÃO ORTOGONAL DOS EIXOS	34
FIGURA 4 - MAPA DO SEMIÁRIDO PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÉDIA ANUAL (°C).....	39
FIGURA 5 - MAPA DO SEMIÁRIDO PARA A VARIÁVEL IDH	40
FIGURA 6 - MAPA DO SEMIÁRIDO PARA A VARIÁVEL PIB PER CAPITA... 41	
FIGURA 7 - INDICADOR DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL ESTIMADO PARA OS MUNICÍPIOS DO SEMIÁRIDO NO ANO DE 2010.....	47

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - VARIÁVEIS SELECIONADAS PARA A CONSTRUÇÃO DO
INDICADOR 36

QUADRO 2 - VARIÁVEIS INDEPENDENTES 37

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO SEMIÁRIDO POR ESTADO NORDESTINO	13
TABELA 2 - CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE ARIDEZ	14
TABELA 3 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA	42
TABELA 4 - AUTOVALORES, VARIÂNCIA EXPLICADA PELO FATOR E VARIÂNCIA ACUMULADA (%)	42
TABELA 5 - CARGAS FATORIAIS E COMUNALIDADES	43
TABELA 6 - GRAU DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DOS MUNICÍPIOS DO SEMIÁRIDO POR ESTADO DA REGIÃO NORDESTE	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. OBJETIVOS	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. DEMOGRAFIA DO SEMIÁRIDO NORDESTINO	12
2.2. CLIMA NO SEMIÁRIDO DO BRASIL	14
2.3. ECONOMIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	16
2.3.1. IMPACTOS ECONÔMICOS DO AQUECIMENTO GLOBAL NO BRASIL	19
2.4. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O SEMIÁRIDO NORDESTINO	21
2.5. VULNERABILIDADE E SUSTENTABILIDADE	23
2.6. EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS	26
3. METODOLOGIA	28
3.1. ABORDAGEM DA ANÁLISE FATORIAL: CONCEITO	29
3.2. MODELO MATEMÁTICO DA ANÁLISE FATORIAL	30
3.3. MÉTODO DE EXTRAÇÃO E ESCOLHA DE FATORES	32
3.4. INDICADOR DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL	35
3.5. BASE DE DADOS	35
3.6. ANÁLISE DOS DADOS	42
3.7. RESULTADOS	44
4. CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

Quando se discute meio ambiente, a mudança do clima é considerada um dos principais assuntos, seja por efeito de processos naturais ou pelo acúmulo de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera terrestre através da ação humana. Considerando o aumento do efeito estufa e, conseqüentemente, o aquecimento global, muitos efeitos devastadores poderão ser sentidos pela humanidade e meio ambiente, conforme relata o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas em seu relatório “Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação” (PBMC, 2016).

A mudança na concentração de GEEs pela emissão insustentável advinda de diversos agentes – incluindo pessoas, empresas e países em geral – não pode ser amplamente medida, mas há um consenso de que há riscos associados ao aumento da temperatura do planeta e conseqüente elevação no nível dos oceanos, além das mudanças nos regimes de chuvas. Também é possível salientar, para este estudo, que algumas regiões podem ser mais vulneráveis às mudanças climáticas, principalmente quando já existe um longo e passado processo de dependência de recursos altamente ligados à variabilidade climática, como a água.

De acordo com Marengo (2008), a vulnerabilidade de um sistema ecológico pode aumentar devido à elevação na variação do clima, além de expandir as incertezas no processo de gerenciamento da água. A expressão vulnerabilidade indica um limite em que uma pessoa ou sistema pode ser afetado. De outro modo, o termo sustentabilidade quer dizer a capacidade de um sistema de preservar-se em uma determinada circunstância. Assim, vulnerabilidade e sustentabilidade são termos dependentes, em que uma frágil sustentabilidade de um sistema é considerada como mais vulnerável.

No que se refere à população, a dificuldade de acesso à água é um fator que pode ser ainda mais afetado pela mudança climática. As alterações no clima são responsáveis pelo aumento das temperaturas médias, aumento

das taxas de evaporação das águas, e principalmente pela mudança nos regimes de precipitação, resultando em poucas chuvas ou a sua falta. Hoje, no Brasil, os mais afetados pela escassez hídrica são os pequenos agricultores de subsistência e a população mais pobre do Semiárido da Região Nordeste, segundo o PBMC (2014). Essa parcela da população é considerada a mais vulnerável pela falta de capacidade em se adaptar e sobreviver a essas mudanças, afetando principalmente a produção de alimentos e outros fatores correlatos à economia da região.

Essa variabilidade climática tem sido, ao longo dos anos, alvo de preocupação do governo e da sociedade como um todo, afinal os cenários de seca no Semiárido nordestino sempre estão associados com os problemas dos moradores do interior da região, na maioria rurais. Assim, com uma maior intensidade das secas e aridez do solo, o pilar de sustentação para as atividades humanas se reduzirá, sendo provável um maior deslocamento da população para áreas e cidades onde seja viável desenvolver a agricultura por meio da irrigação, agravando ainda mais os problemas urbanos.

É importante ressaltar que essas secas também estão relacionadas às características climáticas da região e às instabilidades dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical (MARENGO, 2008).

Com base nas variações climáticas e nas preocupações atuais das instituições governamentais do mundo todo, esse estudo irá considerar a relação entre vulnerabilidade socioambiental e a qualidade de vida na região do Semiárido nordestino.

A seguir, Nobre (2011) remonta as possíveis consequências do aquecimento global e das mudanças do clima para o Brasil:

Os vários cenários de mudanças climáticas para o país, em função dos diversos cenários de emissões de gases do efeito estufa (GEEs, principalmente o dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, CO₂, CH₄ e N₂O, respectivamente) para os próximos 100 anos, indicam a possibilidade de impactos climáticos significativos. No cenário *business as usual* de crescimento das emissões dos gases de efeito estufa, os modelos climáticos computacionais sugerem que poderá ocorrer aquecimento de 4 a 6 °C em partes do país ao final do século. (NOBRE, 2011, p. 1).

Os estudos apresentados pelo PBMC (2013) mostram que uma das regiões brasileiras mais afetadas por esse aumento nas taxas de temperatura é a Região Nordeste, principalmente na região do Semiárido. Esse aumento pode resultar em maior desertificação dos solos de plantio de diversas culturas, além de maior transpiração dos riachos e rios, provocando as piores consequências para a população pobre e rural. Assim, esse trabalho visa contribuir para essa discussão de maneira quantitativa analisando a fragilidade ambiental da região.

1.1.OBJETIVOS

- Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é estudar e construir um indicador de vulnerabilidade socioambiental para o Semiárido do Brasil usando a abordagem de análise fatorial.

- Objetivos Específicos

- Indicar as particularidades regionais e climáticas desta região;
- Apresentar a literatura sobre os efeitos das mudanças climáticas e do aquecimento global e seus efeitos sobre o Semiárido nordestino e o Brasil;
- Explicar os fatores socioeconômicos e ambientais da vulnerabilidade para a população do Semiárido;
- Indicar quais são as regiões mais vulneráveis às mudanças do clima dentro do contexto do Semiárido.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. DEMOGRAFIA DO SEMIÁRIDO NORDESTINO

A região semiárida do Brasil compreende uma área de aproximadamente 1.127.953 quilômetros quadrados (km²) de um total de 1.558.000 km² da Região Nordeste, representando 72,3% do solo nordestino, conforme relata o Instituto Nacional do Semiárido (INSA, 2017). É um território que abrange 1.262 municípios e cerca de 27,8 milhões de brasileiros/as vivem nessa região, sendo 61,97% na área urbana e 38,03% na área rural, segundo a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 2017).

Conforme apresenta a Figura 1, o Semiárido inclui os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, grande parte da Paraíba e Pernambuco, sudeste do Piauí, oeste de Alagoas e Sergipe, região central da Bahia, uma pequena parte do Maranhão e uma faixa que se expande em Minas Gerais, seguindo o Rio São Francisco. Em território nordestino, metade dos estados tem mais de 85% de sua área caracterizada como semiárida, sendo o Ceará o que possui maior parte do seu território com esse perfil (INSA, 2017).

FIGURA 1 – DEMARCAÇÃO DA REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL



FONTE: SUDENE (2017).

A Tabela 1 contém os dados referentes à nova delimitação do Semiárido por Unidade Federativa, logo, o Semiárido do Brasil se caracteriza por ser atualmente a zona semiárida mais povoada do mundo.

TABELA 1 – DISTRIBUIÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO SEMIÁRIDO POR ESTADO NORDESTINO

Semiárido	Nº de municípios	Área (quilômetro quadrado)	Nº de habitantes	Densidade Demográfica (hab/quilômetro quadrado)
Alagoano	38	12.646	962.641	76
Baiano	278	445.613	7.675.646	17
Cearense	175	146.945	5.827.192	40
Maranhense	2	3.547	213.693	60
Mineiro	91	121.215	1.492.198	12
Paraibano	194	51.335	2.498.117	49
Pernambucano	123	86.145	3.993.975	46
Piauiense	185	200.301	2.805.394	14
Potiguar	147	49.098	1.922.440	39
Sergipano	29	11.106	478.935	43
TOTAL	1262	1.127.951	27.870.231	396

FONTE: Instituto Nacional do Semiárido (2017).

Para a delimitação do semiárido usa-se o Índice de Aridez¹. De acordo com a Sudene (2017), o Índice de Aridez de Thornthwaite dessa região é igual ou inferior a 0,50. A Tabela 2 classifica o clima de acordo com o índice de aridez calculado e indica que a desertificação só é suscetível de ocorrer em regiões onde o índice de aridez é menor que 0,65.

¹ Desenvolvido por Thornthwaite (1948) e ajustado posteriormente por Penman (1953), o índice de aridez calcula a diferença entre a quantidade de chuva e a perda de água do sistema, ou seja, a evapotranspiração (BARROS, 2010).

TABELA 2 – CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE ARIDEZ

Classe Climática	Índice de Aridez
Hiperárido	$< 0,05$
Árido	$0,05 < 0,20$
Semiárido	$0,21 < 0,50$
Subúmido Seco	$0,51 < 0,65$
Subúmido úmido	$> 0,65$

FONTE: Matallo Junior (2001).

Além de existir uma relação direta entre o índice de aridez e a desertificação, deve ser destacado que a ocorrência desse processo não pode ser determinada apenas pelo índice de aridez, uma vez que diversos outros fatores estão envolvidos nesta questão. Desse modo, o índice de aridez é considerado de ótima precisão na classificação de áreas vulneráveis à desertificação por utilizar variáveis quantitativas para a análise (SAMPAIO, 2005).

2.2. CLIMA NO SEMIÁRIDO DO BRASIL

A região semiárida do Brasil está inserida no bioma da Caatinga, constituindo o sertão, que, por sua vez, apresenta um clima quente e seco, com chuvas concentradas nas estações de verão e outono. Também é possível evidenciar as médias anuais elevadas de temperatura, que atingem 28°C , além das precipitações pluviométricas médias que variam abaixo de 800 mm^2 ao ano, concentradas em três a cinco meses, sendo distribuídas irregularmente no espaço e tempo (SUASSUNA, 2002). O regime de chuvas dessa região brasileira é marcado pela variabilidade espaço-temporal, que, associada à influência direta de várias massas de ar (a Equatorial Atlântica, Equatorial

² Enquanto nos estados do Paraná e São Paulo verificam-se, respectivamente, 1.005 e 1.340 mm de pluviosidade média anual.

Continental, Polar e as Tépidas Atlântica e Calaariana), resulta na sucessiva ocorrência de dias sem chuva, e de modo consequente, no fenômeno da seca. O clima do Nordeste, assim como do Semiárido, também sofre a influência de outro fenômeno natural que ocorre eventualmente, o El Niño, caracterizado pelas variações de temperaturas do Oceano Atlântico. A proximidade da linha do Equador é outro agente influenciador nas particularidades climáticas do Nordeste (GALVINCIO *et al.*, 2007).

Segundo Marengo (2007), o Semiárido brasileiro sempre foi afetado por grandes eventos extremos de secas. Assim, o que realmente caracteriza uma seca não é o baixo volume de chuvas e sim a sua distribuição no tempo. Também é necessário ressaltar que, pela elevada variabilidade espacial da precipitação no Semiárido, pode acontecer de existirem locais nos quais os totais pluviométricos estejam dentro dos valores médios em um ano observado como seco, ou seja, podem encontrar-se áreas com precipitações acima da média.

Nesse contexto, Mendes (1997) afirma que o clima é uma das características mais importantes do Semiárido, especialmente por conta das secas estacionais e periódicas, fundamentais para a determinação do sucesso (ou não) das atividades agrícolas e pecuárias e, consequentemente, da sobrevivência das famílias dessa região. Assim sendo, apesar da sua extensão territorial, o clima do Semiárido nordestino é pouco diversificado.

Outra característica importante que define o Semiárido são os elevados níveis de radiação solar que incidem nas áreas de baixas latitudes e resultam em elevadas taxas de evaporação, atingindo até 2.000 mm/ano aproximadamente. Isso restringe a quantidade de água armazenada nos reservatórios e reduzindo a umidade do solo, o que simultaneamente com a baixa precipitação e sua irregularidade durante o ano causam um balanço hídrico climático anual negativo (CORREIA *et al.*, 2012).

Em termos geológicos, a região semiárida é caracterizada pelo embasamento cristalino, um tipo estrutural em que os solos geralmente são rasos e rochosos em muitas localidades, havendo baixa capacidade de infiltração e drenagem. Em consequência do comportamento das chuvas no

Semiárido, grande parte da população é altamente dependente da água da chuva, de sua captação e armazenamento, uma vez que os rios apresentam regime temporário, com exceção do rio São Francisco que se destaca em meio à grande área seca.

Em relação ao problema crônico de falta de água, Alves *et al.* (2011) relata que a ausência de sistemas eficientes para o armazenamento da água agrava ainda mais os efeitos sociais, principalmente por esse recurso estar quase sempre concentrado nas mãos de poucos. O autor ainda afirma que, levando em consideração os problemas sociais, estes podem ser intensificados devido a migrações da população dessa região semiárida para outras cidades e/ou outros estados, denominados como “refugiados do clima”.

2.3. ECONOMIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O clima compreende um conjunto de características da atmosfera de uma determinada região durante um período de tempo. É composto pelas temperaturas médias, pela quantidade de chuvas, a umidade do ar e algumas outras particularidades. Já as mudanças climáticas são alterações no clima que podem ser causadas por processos naturais da própria Terra, por fenômenos externos, ou ainda, mais recentemente, pelas atividades humanas, conforme relata o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007).

Há estudos de que as alterações no clima causadas pelas ações antrópicas impactam diretamente o meio ambiente. A intensificação do crescimento econômico e populacional de determinadas regiões ao longo do tempo é um fator que está altamente ligado ao processo de degradação do meio ambiente e dos recursos naturais. Dentre outros fatores, podem ser citados: a intensificação da industrialização, produção e o consumo em massa, urbanização, modernização agrícola, etc. Por mais que essa questão venha sendo discutida há um bom tempo, foi a partir do século XX que esse conflito entre crescimento econômico e meio ambiente atingiu o nível de poder colocar em risco a sustentabilidade da vida na Terra, por danificar os recursos naturais renováveis e não renováveis, aumentar a possibilidade de ocorrência de

desastres naturais e acarretar a poluição ambiental dos solos, ar e água (GONÇALVES JUNIOR E RODRIGUES, 2013).

Conforme analisam Gonçalves Junior e Rodrigues (2013), a degradação ambiental é conceituada como um conjunto de ações e processos impactantes sobre o meio ambiente que comprometem o uso dos recursos naturais se não respeitada a sua capacidade de suporte. Assim, os problemas ambientais podem resultar em efeitos econômicos e não econômicos. Os efeitos econômicos são os que podem ser contabilizados em custos e/ou prejuízos, e os não econômicos são refletidos na qualidade de vida.

Segundo o relatório “Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação” do IPCC (2014), muitas espécies terrestres, de água doce e marinhas mudaram suas atividades sazonais, padrões de migração, abundâncias e interações em resposta às mudanças climáticas antropogênicas³ atuais, resultando em significativas alterações nos ecossistemas. Em relação às extinções de espécies, apenas algumas têm sido atribuídas até agora às mudanças do clima. Com base em muitos estudos que abrangem uma ampla gama de regiões e culturas, os impactos negativos das alterações climáticas no rendimento das culturas foram mais comuns do que os impactos positivos. Vários períodos de aumento rápido de preços de alimentos e cereais após o clima extremo em regiões produtoras indicam uma sensibilidade dos mercados atuais aos extremos climáticos. Para países de todos os níveis de desenvolvimento, esses impactos são consistentes com uma significativa falta de preparação para a atual variabilidade climática.

No mesmo relatório, o IPCC (2014) também analisa os diferentes cenários decorrentes das mudanças climáticas em outras partes do mundo. Na África, por exemplo, os principais impactos são verificados na mudança na incidência e na distribuição geográfica de doenças transmitidas pela água devido a alterações na média e na variabilidade da temperatura e precipitação. As medidas adaptativas que poderiam ser implementadas incluem: alcançar metas de desenvolvimento, melhor acesso à água potável e melhor saneamento, além de melhoria na saúde pública, mapeamento de

³ Mudanças realizadas pela ação humana.

vulnerabilidades, sistemas de alerta antecipado e desenvolvimento urbano sustentável. Já no Continente Europeu, há perdas econômicas e pessoas afetadas por eventos extremos de calor, causando impactos diretos na saúde e bem-estar, na produtividade do trabalho, produção agrícola e aumento no risco de incêndios no sul do continente. As maneiras de controlar esses eventos extremos seriam: implementação de sistemas de aviso, adaptação de habitações, locais de trabalho e transporte, infraestrutura de energia, melhoria no gerenciamento de incêndios florestais e redução das emissões para melhorar a qualidade do ar.

Como último exemplo, a América do Norte sofre de inundações urbanas em áreas ribeirinhas e costeiras, induzindo danos à propriedade e ecossistemas, na saúde pública, no comprometimento da qualidade da água devido à elevação do nível do mar, além da ocorrência de ciclones e tornados. A implementação da drenagem urbana é cara e prejudicial para as áreas urbanas e devem ser construídas estratégias para tentar reduzir a intensidade dos eventos de inundação.

Segundo Marengo (2007), o aquecimento global tem demasiados impactos ambientais que incluem o derretimento das geleiras e calotas polares, assim como efeitos em processos biológicos. As consequências mais evidentes do aquecimento global são os climas mais quentes que podem expandir o número de doenças tropicais, como a malária e a dengue. Além de existirem evidências de que episódios extremos como ondas de calor e de frio, enchentes, secas e tempestades, têm acarretado grandes perdas econômicas e até de vidas.

Segundo o IPCC (2007), é esperada uma maior frequência de ondas de calor com maior duração e intensidade, e prevista uma deterioração da qualidade do ar e um crescimento de áreas de risco. Além do mais, entre as principais vítimas das mudanças climáticas estão o meio ambiente, os ecossistemas e meios de subsistência, e principalmente as populações diretamente dependentes desses recursos.

Em relação ao Brasil, segundo Ribeiro (2008), deve ser ressaltado que o quadro social do país intensifica os impactos socioambientais das mudanças

do clima nas cidades brasileiras. São verificadas centenas de anos de segregação social que dificultam como as ações devem ser direcionadas para conter as mudanças previstas pelos cientistas do IPCC. Quem estará mais submetida a esses problemas será uma significativa parte da população brasileira que mora nas áreas de risco, se comparada com a população que vive em uma estrutura social melhor no Brasil.

Outra consequência das mudanças climáticas como resposta para lidar com os choques ambientais é a migração. A decisão de migrar para outra região inclui, além de fatores ambientais, fatores econômicos, políticos, sociais, demográficos etc., causando efeitos diretos tanto no local de origem dos migrantes, como no de destino. Por conta desses processos migratórios serem dinâmicos e não lineares, o governo precisa criar políticas para saber lidar com essas migrações induzidas pelas alterações no clima, pois é esperado que a migração agrave os problemas ambientais e econômicos tanto nas regiões de origem, como também nas áreas de destino. Essa migração pode não apenas impactar as áreas rurais, como as áreas urbanas também, sendo essas últimas tendentes a enfrentar riscos como decorrência da possível marginalização dos migrantes.

Em relação às políticas do governo, estas poderiam incluir o crescimento de novas tecnologias agrícolas, melhor acesso à água via irrigação, introdução de lavouras com maior resistência às secas, entre outras. Desse modo, tais políticas devem ser focadas naqueles que permanecem nas regiões de origem, seja no campo ou na cidade, como também naqueles que migram para os centros urbanos. No que se refere aos fluxos migratórios rural-urbanos esperados para o futuro, há a confirmação de que estes fluxos tornar-se-ão maiores frente aos cenários de mudanças climáticas (DELAZERI, 2015).

2.3.1. IMPACTOS ECONÔMICOS DO AQUECIMENTO GLOBAL NO BRASIL

O relatório "Economia das Mudanças do Clima no Brasil" indica que um dos efeitos causados pelo aquecimento global no Brasil é a perda de R\$3,6

trilhões do seu PIB até 2050. São estudados os impactos das mudanças do clima no desenvolvimento do Brasil, com análises macroeconômicas, regionais e setoriais, além de sugestões de tomadas de decisão, incluindo ações imediatas e mitigação⁴. Foi analisado o comportamento do clima até 2050, principalmente a água e a temperatura, e, diante disso, o relatório prevê que a Amazônia e o Nordeste serão as regiões brasileiras mais afetadas pelo aquecimento global. Na Amazônia, o aumento da temperatura pode alcançar 8°C em 2100. No Nordeste, as chuvas poderão reduzir cerca de 2,5 mm por dia até 2100, agravando ainda mais a vazão das principais bacias hidrográficas. A redução de energia atingiria cerca de 30%, causando maiores perdas agrícolas e redução da capacidade de pastoreio dos gados na Região Nordeste (Ministério do Meio Ambiente, 2009).

Artaxo (2013) afirma que o setor de geração de energia deverá se ajustar, pois os reservatórios das usinas hidrelétricas já estão sentindo o efeito da redução das precipitações pluviométricas e da vazão dos rios, por conta, principalmente, da intensificação das secas. A Região Sul do Brasil está perto da saturação de seus recursos hidrelétricos e as alternativas seriam: a energia nuclear, as termelétricas e o uso de combustíveis fósseis – que também colaboram para a emissão de gases do efeito estufa.

No relatório “Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação”, o PBMC (2016) aponta que o Nordeste é a região brasileira que mais deve sentir os impactos das mudanças do clima, o que poderá causar uma redução nas áreas cultivadas de milho, arroz, feijão, girassol e algodão, com graves perdas na produção. O aquecimento global, diz o relatório, pode ameaçar a produção de alimentos brasileira como um todo, caso nenhuma medida mitigadora seja feita. Além dos cenários agrícolas apontarem para uma menor área cultivável, os efeitos negativos sobre a produção de commodities devem resultar em elevação dos preços de arroz, feijão e carne.

Considerando outras consequências dos impactos do aquecimento global no Brasil: o aumento no nível do mar poderá atingir as regiões costeiras, o que colocaria em risco as cidades litorâneas, incluindo os portos. Há a

⁴ Ato de diminuir a intensidade de algo.

possibilidade de a água salgada ocupar os aquíferos. O Brasil pode restringir a sua capacidade de pesca em 6% nos próximos 40 anos e perder 11 milhões de hectares de terra para a agricultura até 2030, o que causaria prejuízos à produção de alimentos no país. Além do mais, o aquecimento global pode aumentar a desigualdade de renda, já tão evidente no país (PBMC, 2016).

2.4. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O SEMIÁRIDO NORDESTINO

Segundo estudos apresentados pelo IPCC (2007), mesmo que seja possível hoje diminuir as emissões de gases para os níveis de 1990, a temperatura do planeta ainda será expandida em torno de 1°C até 2100 considerando o cenário mais positivo, com projeções de até 4,5°C no pior cenário de altas emissões. Ou seja, seria um esforço enorme e pouco provável, já que a temperatura aumentou 0,7°C nos últimos 50 anos em todo o Brasil, e cerca de 1,5° a 2°C no Nordeste em 41 anos, como consequência das mudanças climáticas (IPCC, 2007).

Estatisticamente, ocorrem de 18 a 20 anos de seca a cada cem anos no Semiárido brasileiro. As secas mais intensas são verificadas quando a chuva se reduz a menos da metade do nível esperado. Historicamente, o século 20 registrou uma das épocas mais áridas, atingindo até 27 anos de estiagem. A seca mais profunda e longa se iniciou em 1979, em que 50% do gado morreu por falta de água e a desnutrição explodiu, matando milhares de pessoas por sede e falta de nutrientes. A economia do Semiárido sempre foi baseada em um complexo de pecuárias extensivas e agricultura de baixo custo, como algodão, milho, feijão e mandioca. Esse tipo de agricultura, principalmente de subsistência é altamente vulnerável ao fenômeno da seca (MARENGO, 2008).

Segundo o Instituto Nacional do Semiárido (2012), existem três preocupações básicas a serem ressaltadas em decorrência das mudanças climáticas, ou até mesmo de condições naturais/culturais do Semiárido brasileiro. Primeiro, a desertificação, conceituada como um tipo de degradação ambiental suscetível a ocorrer nas zonas de clima seco de todo o mundo, e que

no Brasil se restringe apenas ao Semiárido. É um fenômeno que reduz constantemente a superfície das terras habitáveis e acaba causando uma expansão demográfica que demanda novos territórios para serem ocupados. Portanto, o total da área já atingida pelo fenômeno da desertificação alcança, aproximadamente, 600.000 km², cerca de 1/3 de todo o território nordestino. Os mais atingidos são os Estados do Ceará e Pernambuco, não obstante, proporcionalmente, a Paraíba seja o Estado com maior proporção de território comprometido com 71% da sua superfície tendo sofrido com os efeitos da desertificação, tornando-se inutilizável para a agricultura.

Em segundo lugar, no Semiárido nordestino a degradação do solo é um dos principais fatores que limitam a produção de alimentos, sendo a causa primordial do círculo vicioso que leva os agricultores familiares a condições de vida impróprias, além do alto endividamento. Geralmente, nessa região, a perda da capacidade produtiva do solo na maior parte dos casos se inicia com o desmatamento e a substituição da vegetação nativa por outra a ser cultivada, em que o cultivo contínuo, no longo prazo e sem reposição de nutrientes, leva a perda de fertilidade dos solos. Esse fenômeno propicia o processo de erosão⁵, sendo o principal elemento da degradação do solo. Isso tem ocasionado, ao longo do tempo, uma menor área agricultável, baixo rendimento dos cultivos e assoreamento de rios e reservatórios, com preocupantes prejuízos à qualidade do meio ambiente e à rentabilidade do agricultor.

O terceiro e último fator é a criação extensiva de cabras, ovelhas, bois, jumentos e etc., que destroem os estoques naturais de sementes da Caatinga. Considerando a criação extensiva desse rebanho por área junto com as queimadas, é possível verificar, ao longo dos anos, o desaparecimento dessa capacidade de restauração das pastagens naturais da região nordestina. Dessa forma, a criação animal no Semiárido é, proporcionalmente, três vezes maior do que a capacidade suportada pelo ecossistema. Presume-se que na região há um estoque de 28,2 milhões de animais (cabras, ovelhas e boi) para 27,8 milhões de pessoas, ou seja, cerca de um pouco mais de 1 animal por pessoa. Por conseguinte, dada a variabilidade climática e a necessidade

⁵ O processo através do qual as partículas do solo são deslocadas e removidas para outros locais pela ação da água ou do vento.

permanente de alimentos, não há como estabilizar a produção e equilibrar a oferta de alimentos.

Conforme já explicado por Marengo (2008), o Semiárido brasileiro é e continuará sendo uma das regiões mais afetadas pelas mudanças climáticas, uma vez que, além dos cenários de aumentos de temperatura, o Semiárido tenderá a tornar-se mais árido, podendo ocorrer um aumento na frequência e na intensidade das secas e consequentes reduções na disponibilidade de recursos hídricos. Essas alterações no clima da região resultarão no impacto sobre a vegetação e biodiversidade, afetando principalmente as áreas mais vulneráveis.

2.5. VULNERABILIDADE E SUSTENTABILIDADE

Serão considerados nesse estudo dois conceitos de vulnerabilidade. A vulnerabilidade socioeconômica e a vulnerabilidade socioambiental. Assim, nesse momento o conceito de vulnerabilidade é crucial. É preciso revisá-lo frente às mudanças provenientes do aquecimento global e indicar alguns dos problemas que a população enfrenta e que exigem políticas públicas em escala regional, estadual e até nacional.

O Semiárido é a região que retrata os mais elevados índices de vulnerabilidade socioeconômica, com significativa parcela da população desenvolvendo atividades agrícolas, principalmente de subsistência, ou seja, essenciais à alimentação básica (PBMC, 2014). Essas atividades não possuem alto grau técnico em sua produção e há uma grande dependência dos recursos naturais disponíveis. À vista disso, os balanços hídricos negativos podem comprometer a agricultura de subsistência da região semiárida, consequentemente a população e a sua renda, afetando toda a economia da região. Essa avaliação regional subsidia pesquisas sobre a mitigação e adaptação das atividades humanas aos impactos das mudanças climáticas (ANGELOTTI *et al.*, 2011).

Nesse sentido, Gray e Mueller (2011, *apud* Delazeri, 2015, p. 2) afirmam que a vulnerabilidade socioeconômica e o fato dos pequenos agricultores do Semiárido serem dependentes à regularidade e quantidade de precipitação, assim como a dificuldade em enfrentar os choques ambientais, provavelmente serão intensificados pelas mudanças climáticas. Logo, as consequências sobre a produção de alimentos decorrentes da menor precipitação e possível elevação da temperatura dessa região serão a criação de inseguranças quanto à alimentação, além de uma maior evidência nas diferenças sociais, afetando com mais intensidade os agricultores e moradores relativamente mais pobres. Portanto, é considerado um indicador de vulnerabilidade da agricultura, a falta de chuva nessa região.

Em relação à vulnerabilidade socioambiental, os efeitos das mudanças climáticas estão ligados diretamente à vulnerabilidade no qual o meio ambiente está exposto. À vista disso, os estudos do IPCC (2007) relatam como principais impactos: eventos de secas ou até mesmo elevadas precipitações que causam enchentes, ondas de calor, a agricultura, a saúde da população e as atividades econômicas.

O bioma típico do Semiárido brasileiro, a Caatinga, possui 80% de sua área com alterações realizadas pelo homem através da exploração predatória e, principalmente por isso é considerada como altamente vulnerável às mudanças climáticas. Estudos dos cenários de alta emissão de gases do efeito estufa indicam que a Caatinga poderá ter uma modificação em sua vegetação, tornando-se uma região cada vez mais árida (CASTRO; CAVALCANTE, 2011). Assim, a vulnerabilidade socioambiental como decorrência das mudanças do clima pode representar também uma grave ameaça à segurança alimentar da população.

Nesse contexto, é necessária uma adaptação, que significa o ajuste dos sistemas naturais ou humanos em decorrência das alterações climáticas verificadas ou até mesmo previstas, com objetivo de reduzir e saber lidar com os impactos. Como uma grande parcela da população dessa região está sujeita a riscos e muitas vezes não tem condições de confrontar esses desafios, a

adaptação é tentar saber atuar frente aos cenários de risco que devem acontecer cada vez mais (IPCC, 2007).

Vale ressaltar que o Semiárido nordestino também é vulnerável a enchentes e chuvas intensas (Alves *et al.*, 2011). A média histórica de pluviosidade varia entre 550 a 600 mm anuais. Historicamente, grupos de pessoas ficaram isolados, casas, barragens e açudes foram devastados, pessoas e animais morreram, além da produção agrícola, que sofreu um intenso prejuízo. Segundo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, o motivo dessas chuvas abundantes foi o transporte de umidade desde o Atlântico Tropical e da bacia Amazônica até o Nordeste, fenômeno incomum, mas possível de ocorrer eventualmente. Os registros realizados desde 1961 indicam que o ano mais chuvoso foi 1985, quando os índices pluviométricos totais no período chuvoso (fevereiro a maio) atingiram 900 mm em toda a região nordestina.

Segundo Marengo (2008), as mudanças climáticas derivadas do aquecimento global podem provocar elevações na temperatura e independente de como estejam as precipitações pluviométricas, esses aumentos já seriam capazes de ocasionar uma maior evaporação dos rios, reservatórios e até mesmo das plantas. Ou seja, a não ser que seja verificado um crescimento no volume de chuvas, a água, ao longo do tempo, se tornará um bem mais escasso, causando graves consequências para a sustentabilidade do desenvolvimento do Semiárido. Assim, é possível ressaltar que essa região é caracterizada por uma frágil sustentabilidade econômica e ambiental, e o seu comprometimento a torna mais vulnerável nos sentidos ambientais e socioeconômicos.

Embora o aumento do PIB de uma determinada região provoque maior vulnerabilidade ambiental, acaba reduzindo a vulnerabilidade econômica. Isso é representado por um clássico *trade-off*.

2.6. EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

Para a construção do indicador de vulnerabilidade socioambiental para o Semiárido do Nordeste, foram analisados alguns estudos que também utilizaram a abordagem da análise fatorial e construíram indicadores semelhantes. Dentre eles, é possível citar Rossato (2006) que estudou o estado do Rio Grande do Sul. Segundo a autora, tal estado é considerado um dos melhores em nível de desenvolvimento humano do Brasil, de acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU).

Assim, foi elaborado um Índice de Desenvolvimento Humano-Ambiental (IDH-A) e analisada a relação entre qualidade ambiental e qualidade de vida na região, no ano 2000. A metodologia utilizou técnicas estatísticas de análise fatorial e análise de *cluster*⁶, coletando as variáveis nos Censos Demográfico, de População e Agropecuário, na Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas e na Fundação Estatística do Estado do Rio Grande do Sul. Basicamente, os resultados obtidos apontam que municípios demasiadamente industrializados como Porto Alegre, Canoas e Caxias do Sul indicaram elevados índices de potencial poluidor da indústria, assim como a população de alto padrão de vida desses municípios pode desfrutar de melhor atendimento a saúde, apesar de estar habitando um meio altamente poluído. Já os municípios com menor desenvolvimento econômico, a denominada Microrregião da Campanha, apresentou maior qualidade dos solos.

Logo, o IDH-A construído resultou num índice médio de 0,25. Por meio de uma configuração espacial, a análise das correlações entre condições econômicas e qualidade ambiental demonstrou que as regiões gaúchas com maior nível de renda estavam apresentando baixa qualidade ambiental. É comprovada, então, a relevância de se considerar a qualidade ambiental na determinação do desenvolvimento humano, propondo-se um desenvolvimento sustentável.

⁶ Ou análise de agrupamentos. Permite classificar os objetos analisados com base na observação das semelhanças e das diferenças.

Outro estudo relevante é o de Gonçalves Junior e Rodrigues (2013) que tiveram como objetivo verificar a relação entre intensidade e concentração de atividade econômica e condições ambientais nos municípios do estado do Paraná, em 2009. Foi construído um Índice de Degradação Ambiental – IDA, usando as pontuações dos fatores e a porcentagem explicada por cada fator, utilizando a análise multivariada fatorial. Os dados foram retirados do IBGE e do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES). Também foi utilizada a correlação de Pearson⁷ para identificar a correlação matemática entre o PIB per capita de cada município e o índice estimado.

Verificou-se que a correlação matemática entre o PIB per capita e a taxa de degradação ambiental estimada é positiva, ou seja, municípios com maior PIB per capita apresentam maior degradação ambiental. Percebe-se que a Mesorregião Norte Paranaense, a Oeste Paranaense e a Metropolitana de Curitiba são as únicas com IDA considerado muito alto (MA), consequentemente são as mesorregiões que possuem os municípios com maior PIB absoluto do estado, como Curitiba, Londrina, Maringá, Cascavel e Foz do Iguaçu. A Mesorregião Centro-Sul Paranaense apresentou o maior número de municípios com IDA muito baixo (MB), contemplando algumas das microrregiões mais pobres do estado. Com os resultados obtidos, pode-se observar que a intensidade e a concentração de atividade econômica estão relacionadas com a degradação ambiental nos municípios do Paraná.

Segundo o artigo de Guimarães *et al.* (2014), foi construído um Índice de Vulnerabilidade Socioambiental – IVSA, para tentar diagnosticar o grau de vulnerabilidade dos municípios do estado do Rio de Janeiro na incidência de desastres naturais. Conforme estudos do autor, as inundações são consideradas um grave problema de saúde pública global por corresponderem a aproximadamente 40% do total de desastres naturais verificados em todo o mundo. Segundo dados da Estratégia Internacional de Redução de Desastres, quase a totalidade dos óbitos ou afetados pelas inundações são observados em países em desenvolvimento. Embora as inundações tenham causas naturais, as suas consequências também implicam questões sociais.

⁷ A correlação de Pearson mede a correlação entre duas variáveis de escala métrica.

Para a construção do Índice foi utilizada a análise multivariada, envolvendo análise fatorial e variáveis demográficas, sociais e ambientais. Os dados utilizados na pesquisa foram retirados do Censo Demográfico de 2010 do IBGE. Assim, o Índice foi aplicado nos municípios cariocas e equiparado aos números oficiais da Defesa Civil. Os resultados obtidos revelam que o índice é um bom parâmetro para predição da vulnerabilidade da população local na ocorrência de desastres naturais. A vulnerabilidade socioambiental resulta de estruturas socioeconômicas que produzem, simultaneamente, condições de vida precárias e ambientes deteriorados, expressando-se também como menor capacidade de redução de riscos.

Outro estudo relevante foi desenvolvido por Melo e Parré (2007) sobre a implementação do modelo produtivista na agricultura brasileira, o que causou significativas modificações no espaço rural e no seu desenvolvimento. Os autores focaram no caso paranaense, cujo setor agrícola se envolveu nesse processo, apresentando alterações importantes na sua estrutura produtiva, com consequências para o meio rural. Assim, o estudo construiu um Índice de Desenvolvimento Rural – IDR, para os municípios do Paraná, identificando fatores chaves. Foi utilizada a abordagem da análise fatorial e os resultados indicaram que, numa escala de zero a cem, o índice médio de desenvolvimento rural foi de 43,63. Os municípios foram ordenados de acordo com o grau de desenvolvimento, indicando que mais da metade dos municípios se encontram em níveis baixo, muito baixo e muitíssimo baixo de desenvolvimento rural, apresentando a necessidade de medidas para minimizar os efeitos sentidos e melhorar a vida no campo.

Para a construção do índice em si, foram utilizadas variáveis de população, migração, saúde, economia, agricultura, renda (entre outros), contribuindo de modo significativo como exemplo para a construção do indicador de vulnerabilidade socioambiental, proposto por esta monografia.

3. METODOLOGIA

3.1. ABORDAGEM DA ANÁLISE FATORIAL: CONCEITO

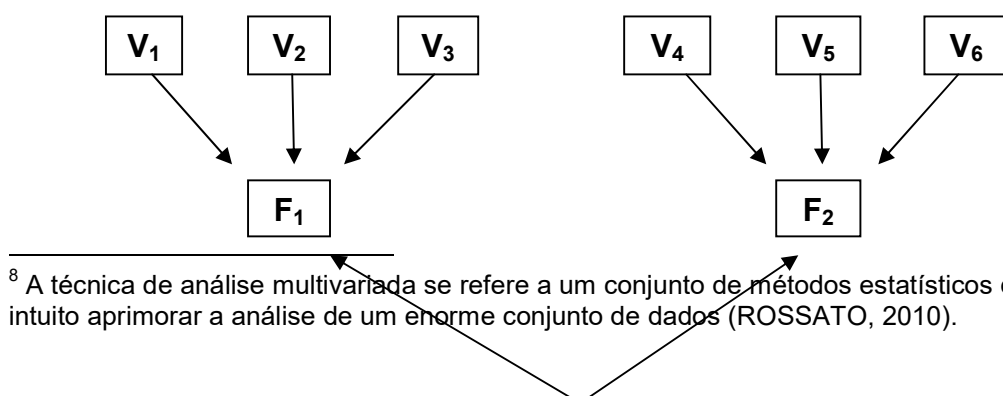
De acordo com os objetivos definidos nesse estudo, será apresentado a seguir o conceito da análise fatorial, cuja abordagem será utilizada na construção do indicador de vulnerabilidade socioambiental para o Semiárido do Nordeste, com base nas evidências empíricas apresentadas na seção anterior.

A análise fatorial (AF) é uma técnica da análise multivariada⁸ que tem por objetivo mensurar um conjunto de variáveis para assim identificar as variabilidades comuns existentes nesse conjunto de fenômenos, apurando variáveis existentes, mas não visíveis de modo direto. Essa técnica apresenta um grupo de variáveis originais por meio da concepção de um número menor de dimensões, em que cada uma destas recebe o nome de FATOR. Os fatores identificados são usados para explicar o relacionamento entre um conjunto de variáveis, sendo chamados de variáveis latentes. Segundo a AF, a correlação entre as variáveis existe porque estas compartilham ou estão associadas com o mesmo fator. É uma técnica de interdependência por identificar uma estrutura de relacionamentos, em que cada variável é explicada levando em consideração todas as outras, até mesmo os fatores (CORRAR *et al.*, 2007).

Para Corrar *et al.* (2007), uma das vantagens da análise fatorial é a diminuição da quantidade de variáveis a serem examinadas em uma pesquisa, resumindo os dados e permitindo a escolha de uma ou mais variáveis relevantes para ser objeto de avaliação.

A figura 2 ilustra a simplificação das variáveis de estudo em variáveis latentes (fatores):

FIGURA 2 – VARIÁVEIS ORIGINAIS E A TRANSFORMAÇÃO EM FATORES



Variáveis Latentes

FONTE: Corrar *et al.* (2007).

Segundo Melo e Parré (2007), a análise fatorial parte do princípio básico da redução do número primário de variáveis através da criação de fatores independentes, de modo que estes fatores possam demonstrar, de forma clara e reduzida, a precedência das variáveis. A análise fatorial pode ser elaborada através do método de análise de fatores, em que o primeiro fator abrange o maior percentual de explicação da variância das variáveis, o segundo fator contém o segundo maior percentual e assim por diante.

3.2. MODELO MATEMÁTICO DA ANÁLISE FATORIAL

Será utilizado o livro de Corrar *et al.* (2007) como base para explicar o modelo matemático da análise fatorial. Em conjunto, para a construção do indicador de vulnerabilidade socioambiental, será utilizada a estrutura apresentada por Melo e Parré (2007) e Gonçalves Junior e Rodrigues (2013), cujos autores construíram indicadores semelhantes utilizando a abordagem da AF.

Segundo Corrar *et al.* (2007), agrupar uma quantidade de variáveis em um número menor de fatores significa que a análise fatorial examina a viabilidade de agrupar i variáveis ($X_1, X_2, X_3... X_i$) em um número menor de j fatores ($F_1, F_2, F_3... F_j$). Assim, a primeira fórmula matemática pode ser visualizada da seguinte forma:

$$X_i = \alpha_i F + e_i \quad (1)$$

Em que:

X_i = é a variável i analisada;

α_i = é uma constante;

F = é o fator;

e_i = é o erro.

A fórmula apresenta uma variável padronizada – de média zero e variância igual a um – X_i , explicada por uma constante α_i , multiplicada por um fator – de média zero e variância igual a um – F . Porém, a variável contém alguns aspectos que não são comuns a nenhuma das outras variáveis do estudo. Desse modo, o fator não é capaz de explicá-la totalmente, havendo assim o resíduo denominado e_i .

A partir desse raciocínio, as variabilidades em uma variável podem ser explicadas com base em um conjunto de fatores. Assim, o modelo matemático da AF é expresso como:

$$X_i = \alpha_{i1} F_1 + \alpha_{i2} F_2 + \alpha_{i3} F_3 + \dots + \alpha_{ij} F_j + e_i \quad (2)$$

Em que:

X_i = são as variáveis padronizadas;

α_i = são as **cargas fatoriais**;

F_j = são os fatores comuns não relacionados entre si;

e_i = é um erro que representa a parcela “não explicada” pelos fatores comuns.

As cargas fatoriais são valores que indicam o grau de correlação entre as variáveis originais e os fatores. Quanto maior uma carga fatorial, mais associada com o fator se encontra a variável. O quadrado da carga fatorial representa o quanto do percentual da variação de uma variável é explicado pelo fator (CORRAR *et al.*, 2007).

Logo, obtidas as cargas fatoriais, o passo seguinte compreende a determinação dos escores fatoriais associados aos fatores. Os fatores, no que lhe concernem, podem ser estimados por uma combinação linear das variáveis originais. Dessa forma, tem-se:

$$F_j = \omega_{j1} X_1 + \omega_{j2} X_2 + \omega_{j3} X_3 + \dots + \omega_{ji} X_i$$

$$F_j = \sum_{i=1}^i \omega_{ji} X_i \quad (3)$$

Em que:

F_j = são os fatores comuns não relacionados;

ω_{ij} = são os **coeficientes dos escores fatoriais**;

X_i = são as variáveis originais envolvidas no estudo.

O escore fatorial para cada observação é resultado da multiplicação do valor padronizado (variável original) pelo coeficiente do escore fatorial correspondente (ω_{ij}).

Conclui-se do modelo matemático que a análise fatorial reúne algumas variáveis observáveis em um fator não diretamente observável, sendo o fator a consequência do relacionamento linear entre as variáveis originais passíveis de explicação. Ou seja, quando uma das variáveis que integram o fator passa por uma variação, as outras variáveis desse fator sofrem variações proporcionais à variação sofrida pela primeira variável (CORRAR *et al.*, 2007).

3.3. MÉTODO DE EXTRAÇÃO E ESCOLHA DE FATORES

Conforme realizado por Gonçalves Junior e Rodrigues (2013), o método utilizado para este estudo será a Análise de Fatores. O método busca uma combinação linear entre as variáveis de modo que o máximo de variância seja explicado por essa combinação. O resultado desse mecanismo são fatores ortogonais, ou seja, não correlacionados entre si. Desta forma, esse mecanismo é utilizado para obter fatores que contenham o mais elevado grau de explicação da variância existente.

O objetivo é de que um número de fatores venha a explicar a parcela máxima da variância existente nas variáveis originais e quando o conhecimento prévio das variáveis sugira que a variância específica e o erro representem uma parcela pequena na explicação da variância total das variáveis (HAIR *et al.*, 1998, p. 100).

Existem dois critérios para a escolha dos fatores a serem estudados: o critério do autovalor⁹ e o da porcentagem da variância explicada. No primeiro critério, o autovalor representa quanto o fator consegue explicar da variância, podendo ser calculado através dos quadrados das cargas fatoriais de cada variável associada ao fator específico. Como são utilizados dados padronizados, cada variável tem média zero e variância igual a um (1,0). Isso quer dizer que fatores com autovalores inferiores a 1,0 são menos representativos do que a variável original. Assim, apenas os fatores com autovalores acima de 1,0 são utilizados, ou seja, há uma limitação ao criar um limite de escolha. Já o critério de escolha baseado na porcentagem da variância, o pesquisador estabelece quantos fatores devem ser utilizados através do percentual da variância que ele considera adequado¹⁰ (GONÇALVES JUNIOR E RODRIGUES, 2013). Esse estudo vai considerar o método do autovalor porque é o método mais utilizado nos estudos utilizados como base.

Uma questão importante na análise fatorial é a eficácia de análise dos fatores, ou seja, como as variáveis serão agrupadas nos fatores. A capacidade de produzir fatores que possam ser traduzidos indica se a AF será mais ou menos útil. Para aumentar o poder de explicação da análise fatorial pode-se utilizar a técnica de rotação dos fatores. As cargas fatoriais são traduzidas como pontos entre eixos (que são os próprios fatores), e esses eixos podem ser girados sem modificar a distância entre os pontos. Contudo, as coordenadas do ponto em relação aos eixos são modificadas, elevando o poder de explicação da análise.

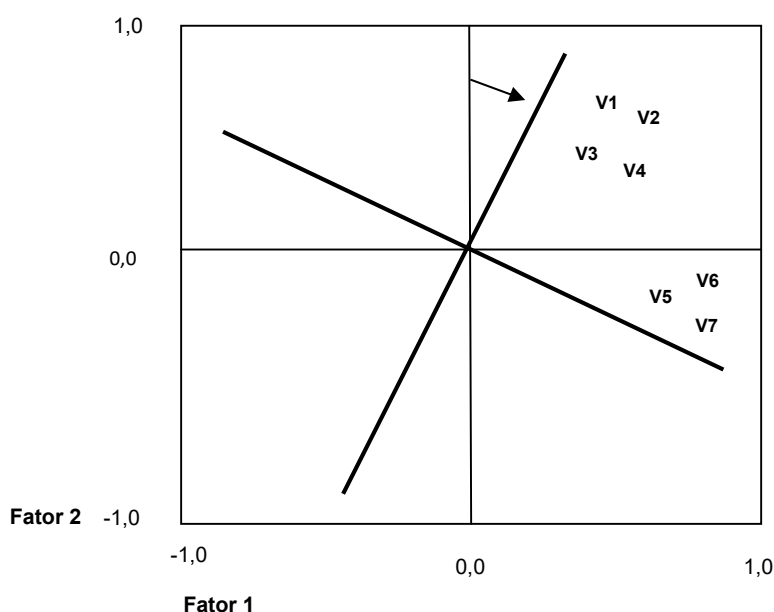
Há diversos procedimentos de rotação que permitem obter fatores com maior potencial de explicação (Varimax, Quartimax, Equimax, Promax etc.). Conforme utilizado por Gonçalves Junior e Rodrigues (2013) e Melo e Parré

⁹ Esse critério também é denominado de critério da raiz latente ou critério *Kaiser* (*Kaiser test*).

¹⁰ Por exemplo, se o pesquisador acredita que seu trabalho deve ser realizado com no mínimo 80% da variância explicada, então a quantidade de fatores a serem adotadas será aquela que possibilita explicar esse percentual de variação.

(2007), este estudo irá utilizar o método de rotação Varimax para elevar o poder de explicação da análise. Tal método é um dos mais utilizados, sendo um tipo de rotação ortogonal¹¹ que tem como objetivo reduzir a ocorrência de uma variável possuir altas cargas fatoriais para diferentes fatores, fazendo com que uma variável seja simplesmente identificada com um único fator. A Figura 3 abaixo apresenta um exemplo de rotação ortogonal:

FIGURA 3 – EXEMPLO DE ROTAÇÃO ORTOGONAL DOS EIXOS



FONTE: Corrar *et al.* (2007).

Segundo Melo e Parré (2007), na abordagem da análise fatorial há um teste a ser feito chamado *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO). Esse teste consiste na soma dos quadrados das correlações de todas as variáveis dividida por essa mesma soma acrescentada da soma dos quadrados das correlações parciais de todas as variáveis. O KMO verifica a adequação dos dados em conjunto e apresenta um resultado em uma escala entre 0 e 1, em que valores abaixo de 0,5 são considerados inadequados, entre 0,51 e 0,7 são regulares e acima de 0,7 são considerados bons.

¹¹ A rotação ortogonal conserva os fatores perpendiculares entre si, isto é, sem correlação entre eles.

Outro teste importante a ser realizado é a esfericidade de Barlett ou *Barlett Test of Sphericity* (BTS). O BTS testa a hipótese de que a matriz de correlação é uma matriz identidade, isto é, que não há correlação entre as variáveis (MELO E PARRÉ, 2007).

3.4. INDICADOR DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL

O cálculo do Indicador de Vulnerabilidade Socioambiental (IVS) para cada município do Semiárido nordestino teve como base a construção do Índice de Desenvolvimento Rural para os municípios paranaenses – desenvolvido por Melo e Parré (2007) – e a construção do Índice de Degradação Ambiental (também para os municípios do estado do Paraná), desenvolvido por Gonçalves Junior e Rodrigues (2013). Assim, foi possível a construção do IVS através da equação abaixo:

$$B_M = \frac{\sum_{i=1}^i w_i F_i}{\sum_{i=1}^i w_i} \quad (4)$$

Em que:

B_M = indicador de vulnerabilidade socioambiental bruto;

w_i = proporção da variância explicada por cada fator;

F_i = escores fatoriais.

De acordo com Melo e Parré (2007), os escores fatoriais podem apontar a posição relativa de cada observação considerando o conceito expresso pelo fator. Desse modo, pode-se utilizar a matriz dos escores fatoriais para construir um índice e a partir disso, hierarquizar as observações.

3.5. BASE DE DADOS

Para fins de pesquisa desse estudo, as variáveis selecionadas para o cálculo do indicador de vulnerabilidade socioambiental têm data base no ano

de 2010. Neste ano, havia 1.134 municípios nessa região (IBGE, 2010), assim, todos os dados foram colhidos para cada um destes municípios, com exceção das variáveis “temperatura média” e “pluviosidade média”, cujos dados não foram encontrados para 136 cidades. Desse modo, foi feita uma imputação para cada um destes municípios levando em consideração os dados do município vizinho mais próximo.

Deve-se destacar que os resultados apresentados posteriormente não apresentam relação de causalidade, apenas correlações.

A seguir, o Quadro 1 apresenta as variáveis econômicas, sociais, populacionais e ambientais selecionadas para a construção do indicador, consequentemente, o Quadro 2 expõe as variáveis independentes já especificadas.

QUADRO 1 – VARIÁVEIS SELECIONADAS PARA A CONSTRUÇÃO DO INDICADOR

Variável	Definição
PIB per capita	Relação entre o Produto Interno Bruto e a quantidade de habitantes (em mil reais)
Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	Relação entre qualidade de vida e desenvolvimento econômico da população
Coeficiente de Gini	Medida de desigualdade de distribuição de renda
Densidade Demográfica	Relação entre quantidade de habitantes e área geográfica por quilômetro quadrado
Temperatura Média Anual	Temperatura média anual em graus celsius (°C)
Pluviosidade Média Anual	Quantidade média anual de chuvas em milímetros (mm)
Área Plantada Total	Área plantada total de diversas culturas por hectares
Número de Animais¹² por Pessoa	Relação entre a quantidade de animais e habitantes

FONTE: Elaboração própria.

¹² Os animais incluem bovinos, bubalinos, equinos, asisinos, muares, caprinos, ovinos, suínos e aves (galinhas e galos).

QUADRO 2 – VARIÁVEIS INDEPENDENTES

X₁	PIB per capita
X₂	Índice de Desenvolvimento Humano
X₃	Coeficiente de Gini
X₄	Densidade Demográfica
X₅	Temperatura Média Anual
X₆	Pluviosidade Média Anual
X₇	Área Plantada Total
X₈	Número de Animais por Pessoa

FONTE: Elaboração própria.

Os indicadores de desempenho econômico e social (X_1 , X_2 e X_3) agregam variáveis relacionadas ao desenvolvimento econômico. X_1 indica quanto do PIB é repartido entre a população¹³; X_2 permite abordar aspectos ligados à saúde, educação e renda, com o IDH variando entre zero e um, em que o indicador mais próximo de zero indica menor desenvolvimento humano, e mais próximo de um, maior desenvolvimento humano. Já X_3 é uma variável que procura medir a desigualdade de renda da população, em que mais próximo de zero exprime menor desigualdade, e mais próximo de um, maior desigualdade de renda.

O indicador populacional X_4 procura medir a distribuição populacional, ou seja, se há poucas ou muitas pessoas ocupando o mesmo espaço.

Em relação aos indicadores ambientais, X_5 indica a temperatura média anual; X_6 permite explicar a interferência das chuvas (a sua falta ou excesso); e

¹³ Não necessariamente um PIB per capita elevado indica melhor distribuição de renda.

X_7 agrega qual é a superfície total já plantada. Estas duas últimas variáveis também procuram explicar como podem influenciar o meio ambiente e a sua vulnerabilidade.

Já X_8 é um indicador que faz uma relação de quantos animais existem nessa região por pessoa, pois já foi explicado nesse estudo como os animais podem degradar os solos e destruir os estoques e pastagens naturais da região em questão.

Com exceção da variável “IDH”, todas as demais variáveis seguem a lógica de quanto maior os seus valores, pior em relação à vulnerabilidade socioambiental. Assim, essa é uma limitação da pesquisa e seus resultados serão apresentados posteriormente.

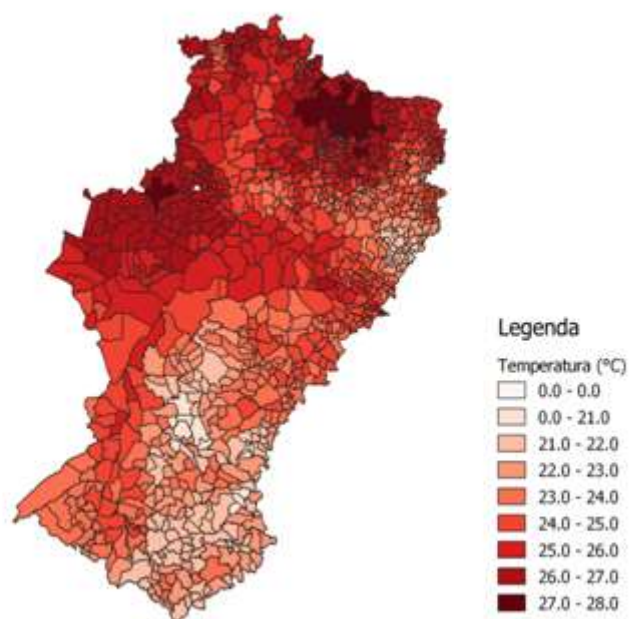
Como há certa limitação na disponibilidade de dados, pode ocorrer de não serem cobertos todos os aspectos essenciais ao processo de vulnerabilidade e às mudanças do clima. Com o objetivo de calcular o grau de vulnerabilidade socioambiental de cada município do Semiárido nordestino, essas variáveis foram selecionadas para abarcar diversos aspectos, levando em conta as estatísticas disponíveis.

Os dados utilizados para a execução da pesquisa têm como fonte: o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), o IPEADATA e o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, todos com data base em 2010.

A seguir, mapas foram construídos através do software QGIS para apresentar três¹⁴ das oito variáveis que compõe a análise com o objetivo de ilustrar a ocorrência dessas três variáveis sobre a região em estudo. Os dados estão apresentados para os 1.134 municípios, segundo o Censo de 2010.

¹⁴ Essas três variáveis foram selecionadas apenas para exemplificar e ilustrar a ocorrência por município.

FIGURA 4 – MAPA DO SEMIÁRIDO PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÉDIA ANUAL (°C)

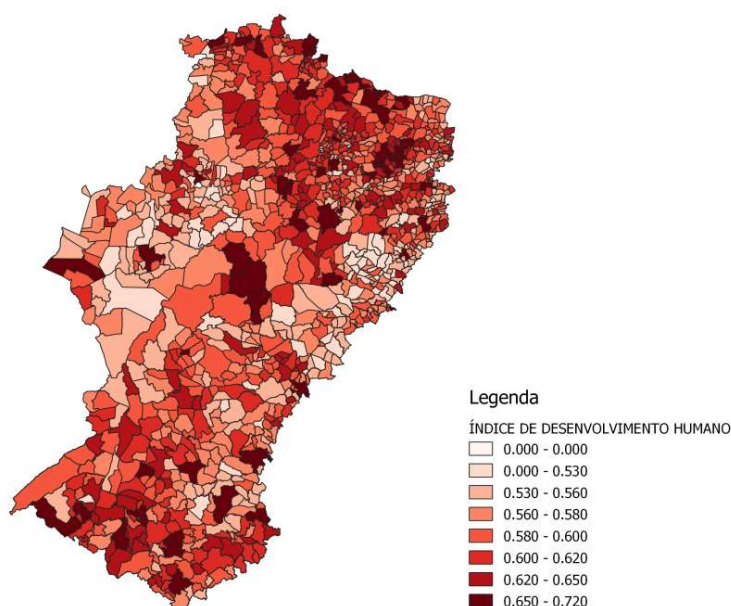


FONTE: Dados da pesquisa.

A Figura 4 ilustra como é predominante a ocorrência de temperaturas médias anuais (em °C) mais elevadas para essa região, principalmente para alguns municípios dos estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí, que apresentam em média temperaturas entre 27°C e 28°C. Essa é uma variável importante para o estudo, pois representa um dos fatores mais relevantes para a vulnerabilidade socioambiental, cujo fenômeno já foi abordado e explicado nesse estudo, além de ser uma variável diretamente impactada pelas mudanças climáticas, foco da discussão. É possível concluir a partir dessa ilustração que os municípios possuem a mesma ou uma próxima média de

temperatura anual, ou seja, é uma variável muito concentrada, principalmente porque varia apenas entre 21°C e 28°C.

FIGURA 5 – MAPA DO SEMIÁRIDO PARA A VARIÁVEL IDH

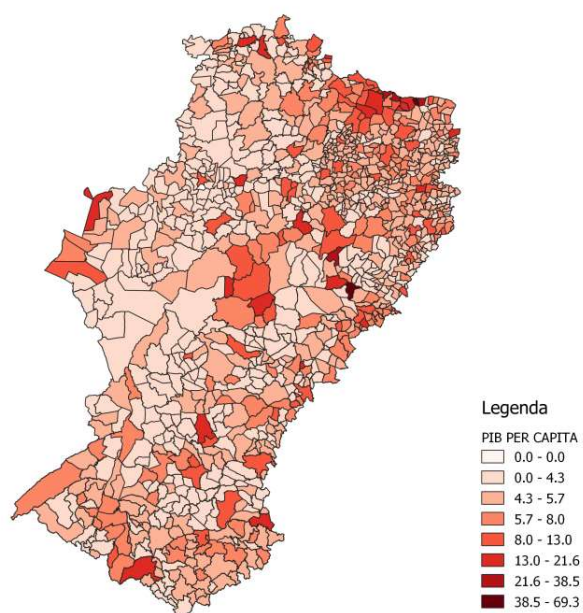


FONTE: Dados da pesquisa.

A Figura 5 apresenta o índice de desenvolvimento humano para cada município da região semiárida. Diferentemente da variável analisada anteriormente, o IDH é uma variável que possui uma dispersão considerável entre os municípios. Os municípios cujos dados apresentam um IDH muito baixo e ilustrados pela cor mais clara no mapa são, por exemplo: Inhapi (AL) e Betânia do Piauí (PI). Em contrapartida, os municípios que apresentam um IDH elevado e ilustrados pela cor mais escura no mapa são, por exemplo: Campina Grande (PB) e Mossoró (RN). É possível concluir através dessa ilustração que

a maioria dos municípios que compõem o Semiárido possui um IDH abaixo da média do Brasil, cujo valor para o ano de 2010 é 0,699.

FIGURA 6 – MAPA DO SEMIÁRIDO PARA A VARIÁVEL PIB PER CAPITA



FONTE: Dados da pesquisa.

A Figura 6 ilustra a variável PIB per capita e indica que essa é uma variável um pouco concentrada entre os municípios. O mapa apresenta uma coloração relativamente clara porque a maioria dos municípios apresenta um PIB per capita baixo, com algumas exceções, com destaque para dois municípios: Canindé de São Francisco (SE) e Guamaré (RN).

3.6. ANÁLISE DOS DADOS

Primeiramente, foi realizada uma estatística descritiva com os dados encontrados para cada uma das oito variáveis. A Tabela 3 a seguir apresenta os resultados encontrados para cada uma das variáveis, entre eles: valor mínimo, máximo, média e desvio padrão. São dados importantes para analisar a amplitude entre os valores de cada variável, a média dos valores e a dispersão ou concentração entre os valores. Pode-se verificar a partir da Tabela 3 que as variáveis densidade demográfica, pluviosidade média anual e área plantada total possuem a maior dispersão. Enquanto as variáveis IDH, coeficiente de gini e temperatura média anual possuem o menor desvio padrão entre as variáveis.

TABELA 3 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Variável	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
PIB per capita	1.134	2,70	69,26	5,31	3,664
Índice de Desenvolvimento Humano	1.134	0,48	0,72	0,59	0,038
Coeficiente de Gini	1.134	0,36	0,79	0,51	0,047
Densidade Demográfica	1.134	1,31	1.383,42	41,10	70,231
Temperatura Média Anual	1.134	21	28	24,96	1,613
Pluviosidade Média Anual	1.134	115	521	255,05	57,555
Área Plantada Total	1.134	0	91.829	5.273,33	7.620,227
Número de animais por pessoa	1.134	0,01	16,47	2,01	2,066

FONTE: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Para a construção do indicador de vulnerabilidade socioambiental proposto, foi aplicada a técnica da análise fatorial por análise de fatores nas oito variáveis selecionadas, utilizando o software *SPSS Statistics*. A análise aplicada para o ano de 2010 possibilitou a extração de quatro fatores com o autovalor maior que a unidade e que sumarizam as informações contidas nas oito variáveis originais. Conforme a Tabela 4, compreende-se que, após a rotação pelo método varimax, os quatro fatores extraídos explicam, na sua totalidade, 65,49% da variância total das variáveis originais.

TABELA 4 – AUTOVALORES, VARIÂNCIA EXPLICADA PELO FATOR E VARIÂNCIA ACUMULADA (%)

Fator	Autovalores (eigenvalue)	Variância Explicada pelo Fator (%)	Variância Acumulada (%)
1	1,590	19,871	19,871
2	1,300	16,249	36,120
3	1,234	15,427	51,547
4	1,115	13,944	65,491

FONTE: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

O teste de KMO, cuja análise consiste na adequabilidade da amostra, apresentou o valor de 0,57, que, segundo os padrões já determinados, é um valor considerado razoável. E o teste de esfericidade BTS¹⁵ apresentou-se significativo, rejeitando a hipótese nula de que a matriz de correlação é uma matriz identidade.

A Tabela 5 apresenta as cargas fatoriais e as comunalidades de cada variável, possibilitando analisar quais variáveis compõem cada um dos quatro fatores.

TABELA 5 – CARGAS FATORIAIS E COMUNALIDADES

Variáveis	Cargas Fatoriais				Comunalidades
	F1	F2	F3	F4	
PIB_CAPITA	0,723	0,103	0,092	-0,299	0,631
IDH	0,763	0,035	-0,100	0,122	0,608
COEF_GINI	-0,111	0,171	0,782	0,121	0,667
DENS_DEM	0,508	-0,350	-0,003	0,234	0,435
TEMP	0,215	0,847	0,011	0,127	0,780
PLUV	0,015	-0,016	0,008	0,912	0,832
AREA_PLAN	0,082	-0,165	0,777	-0,115	0,651
ANIM_PES	-0,402	0,626	-0,020	-0,283	0,634

FONTE: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Foram destacadas em negrito apenas as cargas fatoriais com valores superiores a 0,50. Além disso, os valores encontrados para as comunalidades

¹⁵ Teste BTS: 566,527 (nível de significância 0,000).

indicam que praticamente todas as variáveis têm sua variabilidade captada e representada pelos quatro fatores.

A partir da Tabela 5, pode-se constatar que o Fator 1 está relacionado com as variáveis PIB per capita (PIB_CAPITA) e índice de desenvolvimento humano (IDH), variáveis X_1 , X_2 , e X_4 respectivamente. A correlação existe porque quanto maior o PIB per capita de um município, maior tende a ser o seu IDH, principalmente pelo fato do PIB per capita ser uma variável direta no cálculo do índice.

Também pode ser verificado que o Fator 2 está relacionado com a temperatura média anual (TEMP) e o número de animais por pessoa (ANIM_PES), cujas variáveis são denominadas X_5 e X_8 , respectivamente.

Em relação ao Fator 3, este está relacionado com as variáveis coeficiente de gini (COEF_GINI) e área plantada total (AREA_PLANT), respectivamente, variáveis X_3 e X_7 .

Por último, o Fator 4 está relacionado apenas à variável de precipitação pluviométrica média anual (PLUV), ou seja, de caráter ambiental. Desse modo, essa variável não apresentou uma correlação significativa com nenhuma outra variável em questão.

3.7. RESULTADOS

Após a análise das cargas fatoriais, são observados os escores fatoriais, ou seja, o valor dos fatores para cada município. A partir desses dados, foi calculado o indicador de vulnerabilidade socioambiental bruto (B_M) para cada município do Semiárido, utilizando a fórmula apresentada na seção 3.3. A partir de então, através de uma padronização¹⁶, foi encontrado o Indicador de Vulnerabilidade Socioambiental (IVS) para cada município,

¹⁶ A fórmula utilizada para a padronização e construção de um ranking de vulnerabilidade socioambiental de 100 até 0 é: $(B_{M1} - B_{M1134}) / (B_{M1} - B_{M1134}) \times 100$ para o primeiro município; $(B_{M2} - B_{M1134}) / (B_{M1} - B_{M1134}) \times 100$ para o segundo município, e assim por diante. Desse modo, o município que possui IVS igual a 100 é considerado o mais vulnerável, e o que possui IVS igual a 0 é considerado o menos vulnerável.

considerando-se o maior valor como 100 e o menor como zero, e atribuída uma ordenação entre o município mais vulnerável e o menos vulnerável ambientalmente. O IVS médio obteve o valor de 38.

Aqueles municípios que apresentaram resultados com três desvios-padrão acima da média ($>79,62$) foram categorizados com grau de vulnerabilidade muitíssimo alto – MMA; aqueles com resultados entre dois e três desvios-padrão acima da média ($65,74 < IVS < 79,62$) como muito alto – MA; aqueles com valores entre um e dois desvios-padrão acima da média ($52,87 < IVS < 65,74$) como alto – A; os que apresentaram resultados entre a média e um desvio-padrão acima da média ($38 < IVS < 52,87$) como médio – M; aqueles com resultados no intervalo entre a média e um desvio-padrão abaixo da média ($24,13 < IVS < 38$) como baixo – B; os que tiveram resultados no intervalo entre um e dois desvios-padrão abaixo da média ($10,26 < IVS < 24,13$) como muito baixo – MB; e, por último, os municípios com resultados de dois desvios-padrão abaixo da média ($0 < IVS < 10,26$) foram considerados com grau de vulnerabilidade socioambiental muitíssimo baixo – MMB.

Conforme a classificação estabelecida, a Tabela 6 a seguir indica que sete municípios apresentaram grau de vulnerabilidade socioambiental muitíssimo alto. Na categoria muito alto, 32 municípios foram observados. Na terceira categoria de alta vulnerabilidade, destacam-se 137 municípios. Na próxima classificação, com grau de vulnerabilidade média, há 363 municípios. Já com grau de vulnerabilidade baixa está a maioria dos municípios, totalizando 426, ou seja, 37,56% do total dos municípios do Semiárido. A seguir, na categoria muito baixo encontram-se 160 municípios. Para finalizar, nove municípios estão categorizados com grau de vulnerabilidade muitíssimo baixa. Pode-se concluir que quase 70% dos municípios dessa região, ou seja, 789 encontram-se na classificação média e muito baixa de vulnerabilidade socioambiental.

TABELA 6 – GRAU DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DOS MUNICÍPIOS DO SEMIÁRIDO POR ESTADO DA REGIÃO NORDESTE

Estado	Número de municípios por grau de vulnerabilidade socioambiental						
	MMA	MA	A	M	B	MB	MMB

AL	00	01	01	09	25	02	00
BA	01	01	11	52	120	74	07
CE	02	14	58	67	09	00	00
MG	00	00	04	14	51	16	00
PB	00	02	07	45	80	35	01
PE	00	01	09	29	52	30	01
PI	01	04	28	61	33	00	00
RN	02	08	19	68	47	03	00
SE	01	01	00	18	09	00	00
Total	7	32	137	363	426	160	9

FONTE: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Também pode ser realizada uma análise por estado da Região Nordeste para classificar os municípios. O município com maior grau de vulnerabilidade socioambiental, com IVS igual a 100, foi Canindé de São Francisco no Sergipe. Curiosamente, esse é o município que possui o maior PIB per capita dentre todos os 1.134 municípios do Semiárido, indicando uma possível relação entre crescimento econômico e degradação do meio ambiente. Outras variáveis relevantes para esse município ser considerado o mais vulnerável são: temperatura média anual elevada de 26°C e uma precipitação pluviométrica anual muito baixa de 171 milímetros.

Em segundo lugar, com IVS igual a 96,73, está Guamaré, município do Rio Grande do Norte. É o município que possui o segundo maior PIB per capita do Semiárido nordestino, indicando novamente essa relação, além de outras variáveis relevantes para estar em tal posição, como: temperatura média anual de 27°C e uma precipitação pluviométrica baixa de 244 milímetros. Os demais municípios com grau de vulnerabilidade MMA são, em ordem: Feira de Santana (BA), Juazeiro do Norte (CE), Bom Jesus (PI), Mossoró (RN) e Sobral (CE). Também é possível analisar que os estados do Ceará e o Rio Grande do Norte são os estados com maior número de municípios com IVS muitíssimo alto. Consequentemente, o estado do Ceará também contém a maior quantidade de municípios com IVS com classificação muito alta e alta, totalizando 14 e 58 municípios, respectivamente.

O estado da Bahia abrange a maior quantidade de municípios nas categorias baixo, muito baixo e muitíssimo baixo. Porém, é o estado que possui

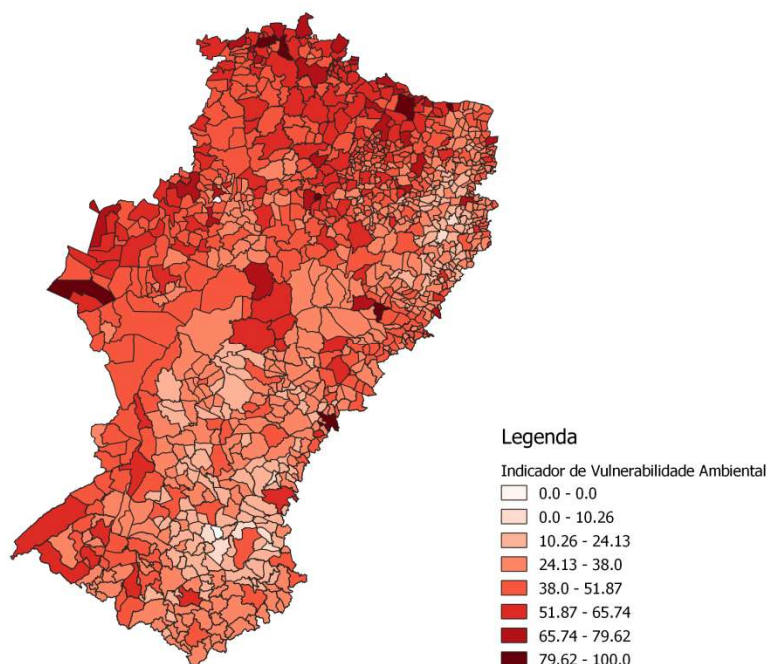
a maior quantidade de municípios dessa região, portanto não pode ser comparado proporcionalmente com os demais estados.

Os estados que apresentaram a maior parcela de municípios na classificação média são: Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. Na categoria de vulnerabilidade socioambiental baixa estão os estados de Alagoas, Bahia, Minas Gerais, Paraíba e Pernambuco.

Segundo os resultados da pesquisa, o município com menor grau de vulnerabilidade socioambiental, com IVS igual a zero, é o município de Maetinga na Bahia. Algumas características desse município são: baixos valores de PIB per capita e densidade demográfica, além de uma temperatura média anual baixa de 22°C. Os demais municípios com grau de vulnerabilidade MMB são, em ordem: Planalto (BA), Caatiba (BA), Tremedal (BA), Jataúba (PE), Anagé (BA), Lagedo do Tabocal (BA), Presidente Jânio Quadros (BA) e Barra de São Miguel (PB).

Assim, o Indicador de Vulnerabilidade Socioambiental – IVS, calculado para cada município do Semiárido do Nordeste conforme a equação 4, está apresentado através de um mapa na Figura 7.

FIGURA 7 – INDICADOR DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL ESTIMADO PARA OS MUNICÍPIOS DO SEMIÁRIDO NO ANO DE 2010



FONTE: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Pode-se verificar que os municípios que possuem um IVS muitíssimo alto estão representados no mapa com a cor mais escura, e assim sucessivamente para as demais categorias já apresentadas anteriormente.

Nota-se que os municípios mais vulneráveis são aqueles que já apresentaram temperaturas médias anuais elevadas, conforme a Figura 4. Ainda que alguns destes municípios com IVS muitíssimo alto tenham um PIB acima da média da região, esse resultado indica que estes municípios podem estar mais suscetíveis a sofrer com as mudanças do clima. Por exemplo, o município de Canindé de São Francisco (SE) possui a sua economia baseada na agricultura do milho, tomate, feijão e algodão, além da pecuária e avicultura. Outra importante fonte de renda do município é o turismo. Em relação à cidade de Guamaré (RN), seu PIB elevado pode ser atribuído à sua elevada produção de petróleo.

Também deve ser destacado que, por mais que esses municípios tenham um PIB acima da média da região, estão bem abaixo da média brasileira, além de terem um IDH baixo. Isso pode contribuir para a elevação da

pobreza e ampliação das desigualdades entre o Semiárido e as demais regiões brasileiras no futuro.

Outra relação importante para explicar a vulnerabilidade da região pode ser feita através de outros municípios que possuem um índice de vulnerabilidade MMA, como, por exemplo, os municípios de Feira de Santana (BA) e Mossoró (RN) que possuem uma densidade demográfica elevada, além de uma grande área destinada à plantação. Outro ponto importante é o fato de Juazeiro do Norte (CE) ser o segundo município com maior densidade demográfica do Semiárido. Já o município de Bom Jesus (PI) possui 1,48 animais por pessoa, representando o município com o maior valor para esta variável, ou seja, há mais animais do que pessoas nesse município. Assim, todos estes fatores são passíveis de explicar em parte o fato de esses municípios estarem nessa posição de vulnerabilidade socioambiental.

4. CONCLUSÃO

Com o objetivo proposto de construir um Indicador de Vulnerabilidade Socioambiental para os municípios do Semiárido do Nordeste, foi realizado um ranking com as condições ambientais de cada município usando uma análise fatorial.

Foi comprovado que a maioria dos municípios dessa região apresentou um IVS baixo, isto é, um desvio-padrão abaixo da média, com as variáveis utilizadas com base na construção do índice. Em seguida, a outra maior parte dos municípios se encontra num grau de vulnerabilidade média.

Os municípios que se encontram na categoria de baixa vulnerabilidade socioambiental com os menores valores dentro dessa categoria são: Cuité (PB), Venturosa (PE) e Santa Maria do Salto (MG)¹⁷. Todos os três municípios possuem em comum um reduzido valor de PIB per capita, além de baixas temperaturas médias anuais, que atingem 23°C, 22°C e 24°C respectivamente. Ambos os municípios também possuem uma área plantada em hectares menor

¹⁷ IVA de 24,14; 24,20 e 24,20 respectivamente.

que a média da região. Pode-se enfatizar que os demais 423 municípios presentes nessa categoria são aqueles considerados como menos vulneráveis às mudanças do clima, em função dos fatores já analisados. Os municípios dessa categoria, em conjunto, possuem o Coeficiente de Gini, a área plantada e a densidade demográfica abaixo da média da região. Todos esses fatores, quanto mais baixos em relação à média do Semiárido, melhor, indicando o porquê de estes municípios estarem nessa categoria menos vulnerável e que engloba a maioria dos municípios dessa região.

O presente estudo, portanto, buscou identificar quais os municípios do Semiárido mais vulneráveis às mudanças do clima. Para isso, foram selecionadas oito variáveis que são diretamente relacionadas às mudanças do clima. Assim, foi possível identificar nove municípios que possuem um IVS muitíssimo alto, 32 que possuem um IVS muito alto, e 137 que apresentaram um IVS alto. Por mais que nessas categorias não esteja a maioria dos municípios dessa região, são os municípios mais vulneráveis às mudanças do clima por este fator intensificar todas as variáveis selecionadas para a análise. As mudanças climáticas podem afetar diretamente a temperatura dessa região (que já é considerada elevada), podem prejudicar a precipitação pluviométrica, cuja quantidade já é baixa, além de reduzir a quantidade de culturas plantadas, o número de animais existentes, e principalmente acentuar a desigualdade de renda e o desenvolvimento da população.

Também foi verificado que nas categorias MMA, MA e A está presente com maior intensidade os municípios do estado do Ceará, tendo sido considerado o estado mais vulnerável ambientalmente dessa região. Em segundo lugar está o estado do Piauí, sendo seguido pelo Rio Grande do Norte. Em contrapartida, o estado que apresentou um IVS muitíssimo baixo, muito baixo e baixo, com uma maior quantia de municípios foi a Bahia, seguida pelo estado da Paraíba e Pernambuco.

Outro fator relevante para a pesquisa foi a possível correlação entre o crescimento econômico e a degradação do meio ambiente, pois os dois municípios que apresentaram uma vulnerabilidade MMA são os que possuem o maior valor de PIB per capita da região. Isso indica, de certa maneira, como a

intensificação das atividades econômicas dos tempos atuais têm prejudicado diretamente o meio ambiente e são fatores altamente capazes de aumentar a ocorrência de mudanças do clima dessa região. Logo, a qualidade de vida das pessoas que vivem nesses municípios com altíssima vulnerabilidade socioambiental está comprometida.

Para concluir, a construção do IVS foi capaz de identificar os municípios e estados mais e menos vulneráveis ambientalmente da região semiárida, utilizando variáveis populacionais, sociais, econômicas e ambientais. De certo modo a pesquisa está limitada quando se trata do levantamento dos dados, além da não utilização de outras variáveis passíveis de relevância para o estudo, como: índice de aridez, índice de evotranspiração, balanço hídrico dos municípios, etc. Isso faz com que o indicador se torne apenas uma aproximação da degradação ambiental que ocorre no Semiárido e de como as mudanças climáticas podem afetar essa região. Contudo, é um passo inicial para a construção de novas medidas futuramente em outras análises que tenham por objetivo estudar o Semiárido do Brasil ou mesmo outras regiões brasileiras.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. M. *et al.* **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. INSA, Campina Grande, p. 385-387, 2011.

ANGELOTTI, F.; SIGNOR D.; GIONGO V. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Medidas de Mitigação e Adaptação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1099, 2011.

ARTAXO, P. Como o aquecimento global pode mudar nossa economia. **Revista Exame**, 2013.

Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Disponível em: <<http://atlasbrasil.org.br>> Acesso em: 23 setembro 2018.

BARCELLOS, C. *et al.* Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, p. 3, 2009.

BARROS, K. O. **Índice de Aridez como indicador de susceptibilidade à desertificação na mesorregião Norte de Minas**. Universidade Federal de Viçosa, Monografia, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Estudo prevê impactos na economia provocados pelo aquecimento global. Relatório: Economia das Mudanças Climáticas no Brasil**. Brasília, 2009. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 16 maio 2018.

CASTRO, A. S.; CAVALCANTE, A. **Flores da Caatinga**. INSA, Campina Grande, p. 14, 2011.

CORRAR, L. J. *et al.* **Análise Multivariada para os cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia**. São Paulo: Atlas, p. 2-130, 2007.

CORREIA, R. C. *et al.* **A região semiárida brasileira**. Embrapa Semiárido, Petrolina, p. 26-30, 2012.

DELAZERI, L. M. M. **Mudanças climáticas e migração rural-urbana no Semiárido brasileiro**. Universidade Federal de Viçosa, Tese de Doutorado, 2015.

GALVINCIO, J. D. *et al.* **Clima e água de chuva no Semiárido**. Embrapa Semiárido, Petrolina, p. 53, 2007.

GONÇALVES JUNIOR, C. A.; RODRIGUES, E. A. G. **Relação entre as atividades econômicas e a qualidade ambiental nos municípios do estado do Paraná**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, p. 64-80, 2013.

GRAY, C.; MUELLER, V. **Drought and Population Mobility in Rural Ethiopia**. World Development, vol. 40, n. 1, p. 134-145, 2011.

GUIMARÃES, R. M. *et al.* **Construção e validação de um índice de vulnerabilidade socioambiental para a vigilância e gestão de desastres naturais no Estado do Rio de Janeiro**. Ciência Saúde Coletiva, Universidade Federal do Rio de Janeiro, vol.19, n.10, p. 4157, 2014.

HAIR, J. F. *et al.* **Multivariate Data Analysis**. Prentice Hall Inc. Upper Saddle River, N.J, 5ª ed, p. 100, 1998.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 23 setembro 2018.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Impacts, Adaptation and Vulnerability**, 2007.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Impacts, Adaptation and Vulnerability**, 2014.

INSA – Instituto Nacional do Semiárido. **Convivência com o Semiárido. Diante das preocupações, as ações**. Campina Grande, 2012. Disponível em: < <https://portal.insa.gov.br>> Acesso em: 20 maio 2018.

INSA – Instituto Nacional do Semiárido. **Nova delimitação expande o Semiárido até o Maranhão: 73 novos municípios foram incluídos**. Campina Grande, 2017. Disponível em: <<https://portal.insa.gov.br/>> Acesso em: 25 maio 2018.

IPEADATA. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>> Acesso em 23 setembro 2018.

MARENGO, J. A. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no Semiárido do Brasil**. Parcerias Estratégicas, Brasília, n. 27, p. 1-172, 2008.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. 2ª ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

MATALLO JUNIOR, H. **Indicadores de Desertificação: histórico e perspectivas**. Unesco, v. 2, p. 107, 2001.

MELO, C. O.; PARRÉ, J. L. Índice de desenvolvimento rural dos municípios paranaenses: determinantes e hierarquização. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 45 p. 329-365, 2007.

MENDES, B. V. **Biodiversidade e desenvolvimento sustentável do Semiárido**. Fortaleza: SEMACE, 1997.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Parcerias Estratégicas**, vol. 6, n. 12, 2011.

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação**, vol. 2, cap. 8, 2014.

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação**, vol. 2, cap. 8, 2016.

PENMAN, H. L. **The Physical bases of irrigation control**. In: International Horticultural Congress, London, p. 913-924, 1953.

RIBEIRO, W. C. **Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil**. Parcerias Estratégicas, v. 27, p. 298-299, 2008.

ROSSATO, M. V. **Qualidade ambiental e qualidade de vida nos municípios do Estado do Rio Grande do Sul**. Universidade Federal de Viçosa, Tese (Doutorado em Economia Aplicada), 2006.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Propensão à desertificação no semi-árido brasileiro. **Revista de Geografia DCG/UFPE**, Recife, v. 22, n. 2, p. 59, 2005.

SUASSUNA, J. **SEMI-ÁRIDO: proposta de convivência com a seca**. Fundação Joaquim Nabuco, Recife, 2002.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do Semiárido**. Recife, 2017. Disponível em: <<http://sudene.gov.br/>> Acesso em: 13 agosto 2018.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v.38, n.1, p.55-60, 1948.